



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 20 147 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶
H 01 L 21/3205
H 01 L 21/768
H 01 L 21/285

⑲ Aktenzeichen: 198 20 147.8
⑳ Anmeldetag: 6. 5. 98
㉑ Offenlegungstag: 1. 7. 99

DE 198 20 147 A 1

⑮ Unionspriorität:
97-82126 31. 12. 97 KR

⑰ Anmelder:
Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon, Kyungki, KR

⑱ Vertreter:
Patentanwälte Wilhelm & Dauster, 70174 Stuttgart

⑰ Erfinder:
Kang, Sang-bom, Seoul, KR; Chae, Yun-sook,
Seoul, KR; Park, Chang-soo, Suwon, KR; Lee,
Sang-in, Suwon, KR

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ① Verfahren zur Bildung einer leitfähigen Schicht mittels eines atomaren Schichtdepositionsprozesses
- ② Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bildung einer leitfähigen Schicht in Form einer Metallschicht oder einer Metallsilicidschicht unter Verwendung eines atomaren Schichtdepositionsprozesses.
- Erfindungsgemäß wird auf dem Halbleitersubstrat eine atomare Opfermetallschicht gebildet und diese dann unter gleichzeitigem Bilden einer atomaren Metallschicht durch Reagieren der atomaren Opfermetallschicht mit einem Metallhalogenidgas entfernt, wobei eine Mehrzahl atomarer Metallschichten übereinandergestapelt wird, indem wenigstens einmal abwechselnd die atomare Opfermetallschicht und die atomare Metallschicht gebildet werden. Zusätzlich kann eine atomare Siliziumschicht vor oder nach Bildung der atomaren Metallschicht eingebracht werden, um abwechselnd atomare Metallschichten und atomare Siliziumschichten übereinanderzustapeln, wodurch sich eine Metallsilicidschicht herstellen läßt.
- Verwendung z. B. zur Herstellung von Zwischenverbindungen in hochintegrierten Halbleiterbauelementen.

DE 198 20 147 A 1

DE 198 20 147 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bildung einer leitfähigen Schicht auf einem Halbleitersubstrat unter Verwendung eines atomaren Schichtdepositionsprozesses.

5 Mit steigendem Integrationsgrad von Halbleiterbauelementen verringern sich das Entwurfsmaß. Dadurch erhöht sich das Aspektverhältnis von Kontaktlöchern, während die Übergangstiefe flacher wird. Die Übergangstiefe hängt direkt mit dem Kurzkanaleffekt eines MOS-Transistors zusammen. Das heißt, ein für ein hochintegriertes Halbleiterbauelement geeigneter MOS-Transistor benötigt eine kurze Kanallänge, und die Tiefe eines flachen Source/Drain-Bereichs, d. h. die Übergangstiefe, muß niedrig sein, um die Eigenschaften des MOS-Transistors mit dem kurzen Kanal zu verbessern. Eine
10 Zwischenverbindungstechnologie zum Kontaktieren des flachen Übergangs mittels einer metallischen Zwischenverbindung benötigt eine Barrierenmetallschicht. Dies verhindert ein Eindringen der metallischen Zwischenverbindung in den flachen Übergang, d. h. das Phänomen der Übergangskurzschlußbildung wird vermieden. Häufig wird eine Titanschicht als Barrierenmetallschicht verwendet, und zwischen die Barrierenmetallschicht und den Übergang wird eine ohmsche Schicht, z. B. eine Titansilicidschicht, eingefügt. Die Titansilicidschicht mit einem Schmelzpunkt
15 von 1540°C, einem Widerstand von 13 µΩcm bis 16 µΩcm und einer Barrierenhöhe von 0,6 eV bezogen auf eine n-leitende Störstellenschicht wird häufig für die ohmsche Schicht oder die Zwischenverbindung verwendet. Die für die ohmsche Schicht benutzte Titansilicidschicht wird durch Bilden einer Titanschicht auf dem Übergang, d. h. auf einem störschichtdotierten Siliziumsubstrat (Störstellenschicht), und anschließendes Tempern erzeugt, um die Titanschicht und das Siliziumsubstrat miteinander in Reaktion zu bringen.

20 Bei einem herkömmlichen Verfahren zur Bildung der metallischen Zwischenverbindung wird, wie oben beschrieben, auf einer Störstellenschicht eine dielektrische Zwischenschicht gebildet, die strukturiert wird, um ein Kontaktloch zu erzeugen, das einen vorbestimmten Bereich der Störstellenschicht freilegt. Außerdem werden die ohmsche Schicht, die Barrierenmetallschicht und die metallische Zwischenverbindung nacheinander ganzflächig auf der resultierenden Struktur gebildet, in welcher das Kontaktloch erzeugt wurde. Die ohmsche Schicht kann durch Erzeugen einer Titanschicht
25 auf der freigelegten Störstellenschicht und Tempern der Titanschicht oder durch Erzeugen der Titansilicidschicht direkt auf der Störstellenschicht erhalten werden. Die Titansilicidschicht muß bei einer ausreichend niedrigen Temperatur gebildet werden, um eine Schädigung der Störstellenschicht zu vermeiden.

Es wurde daher bereits ein Verfahren zur Bildung einer Titansilicidschicht unter Verwendung eines plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidungsprozesses (PECVD) in den Veröffentlichungen J. Lee et al., Plasma Enhanced CVD of Blanket TiSi₂ on Oxide Patterned Wafer, J. Electrochem. Soc., Band 139, Nr. 4, 1992, Seiten 1159 bis 1165 und
30 Alan E. Morgan et al., Material characterization of Plasma-enhanced CVD titanium silicide, J. Vac. Sci. Technol. Band 4(3), 1986, Seiten 723 bis 731 vorgeschlagen. Wenn die Titansilicidschicht jedoch auf dem Kontaktloch mit hohem Aspektverhältnis in einem hochintegrierten Halbleiterbauelement gebildet wird, zeigt sie aufgrund der Plasmacharakteristik nur eine mäßige Stufenbedeckung. Indessen wurde in den Veröffentlichungen V. Ilderem et al., Optimized Deposition Parameters for Low pressure CVD titanium silicide, J. Electrochem. Soc., 1988, Seiten 2590 bis 2596 und G.J. Reynolds et al., Selective titanium disilicide by Low Pressure CVD, J. Appl. Phys. 65(8), 1989, Seiten 3212 bis 3218 ein Verfahren zur Bildung einer Titansilicidschicht unter Verwendung eines Niederdruck-CVD-Prozesses (LPCVD) bei 600°C
35 oder mehr vorgeschlagen. Wenn die Titansilicidschicht jedoch bei 600°C oder mehr erzeugt wird, erhöht sich der Siliziumverbrauch der die Titanschicht kontaktierenden Störstellenschicht, was die Übergangsstromcharakteristik verschlechtert. Es ist daher schwierig, die mittels LPCVD erhaltene Titansilicidschicht an ein hochintegriertes Halbleiterbauelement anzupassen, das einen flachen Übergang erfordert.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines Verfahrens zur Bildung einer leitfähigen Schicht mit vergleichsweise guter Stufenbedeckung bei relativ niedrigen Temperaturen unter Verwendung eines atomaren Schichtdepositionsprozesses zugrunde.

45 Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1, 2 oder 3.

Beim Verfahren nach Anspruch 1 ist speziell die Bildung einer atomaren Opfermetallschicht auf einem Halbleitersubstrat vorgesehen, die mit einem Metallhalogenidgas reagiert wird, um sie so zu entfernen und gleichzeitig eine atomare
50 Metallschicht zu bilden, für die vom Metallhalogenidgas gelöste Metallatome abgeschieden werden. Vorzugsweise ist das Halbleitersubstrat ein Siliziumsubstrat und besitzt einen vorbestimmten Oberflächenbereich, in welchem ein störschichtdotierter Übergang, d. h. eine Störstellenschicht, gebildet wird. Außerdem kann auf dem Halbleitersubstrat eine dielektrische Zwischenschichtstruktur mit einem Kontaktloch gebildet sein, das einen vorgegebenen Bereich der Störstellenschicht freilegt.

Beim Verfahren nach Anspruch 2 werden zunächst in gleicher Weise wie beim Verfahren nach Anspruch 1 eine atomare Opfermetallschicht und eine atomare Metallschicht auf einem Halbleitersubstrat gebildet. Dann wird auf der atomaren Metallschicht eine atomare Siliziumschicht gebildet. Es werden dann abwechselnd eine Mehrzahl von atomaren Metallschichten und eine Mehrzahl von atomaren Siliziumschichten übereinandergeschichtet, indem nacheinander wenigstens einmal die atomare Opfermetallschicht, die atomare Metallschicht und die atomare Siliziumschicht gebildet werden. Durch geeignete Steuerung der Dicke der atomaren Metallschicht und der atomaren Siliziumschicht läßt sich auf
60 diese Weise eine Titansilicidschicht mit einem gewünschten Zusammensetzungverhältnis erzeugen.

Beim Verfahren nach Anspruch 3 werden analog zum Verfahren nach Anspruch 2 eine Mehrzahl von atomaren Siliziumschichten und eine Mehrzahl von atomaren Metallschichten aufeinander geschichtet, jedoch werden im Unterschied

hierbei die atomare Opfermetallschicht und die atomare Metallschicht abwechselnd übereinandergeschichtet, so daß eine Titanschicht entsteht, die aus einer Mehrzahl von atomaren Metallschichten auf dem Halbleitersubstrat besteht. Die anfängliche Opfermetallschicht wird entfernt, bevor eine weitere Schicht gebildet wird, so daß eine Titanschicht entsteht, die aus einer Mehrzahl von atomaren Metallschichten auf dem Halbleitersubstrat besteht. Die anfängliche Opfermetallschicht wird entfernt, bevor eine weitere Schicht gebildet wird, so daß eine Titanschicht entsteht, die aus einer Mehrzahl von atomaren Metallschichten auf dem Halbleitersubstrat besteht.

DE 198 20 147 A 1

B. Über den Gaseinlaß A werden ein Metallquellengas und ein Inertgas in die Reaktionskammer 51 eingeleitet, während über den Gaseinlaß B ein Siliziumquellengas, ein Opfermetallquellengas und ein reduzierendes Gas in die Reaktionskammer 51 injiziert werden. Dies dient dazu, die Reaktion der Gase in einem der Einlässe A und B vor Erreichen der Kammer 51 zu unterdrücken. Die Zufuhr des Metallquellengases und des Inertgases zum Gaseinlaß A wird durch ein erstes bzw. ein zweites Ventil V1, V2 gesteuert, und die Zufuhr des Siliziumquellengases, des Opfermetallquellengases und des reduzierenden Gases zum Gaseinlaß B wird durch ein drittes, ein viertes bzw. ein fünftes Ventil V3, V4, V5 gesteuert.

Bei einem ersten Ausführungsbeispiel, das unter Bezugnahme auf die Fig. 1, 2 und 3 erläutert wird, ist auf dem Halbleitersubstrat ein störstellendotierter Übergang, d. h. eine Störstellenschicht, gebildet, z. B. auf der Oberfläche eines vorbestimmten Bereichs eines Siliziumsubstrates. Die Störstellenschicht, die einem Source/Drain-Bereich eines MOS-Transistors entspricht, ist für ein hochintegriertes Halbleiterbauelement auf eine Tiefe von 0,1 µm oder weniger zu bilden, da der Kurzkanaleffekt des MOS-Transistors in enger Beziehung zur Übergangstiefe steht. Das heißt, der Kurzkanaleffekt des MOS-Transistors verbessert sich mit flacher werdender Übergangstiefe der Störstellenschicht. Auf der mit der Störstellenschicht versehenen, resultierenden Struktur wird ganzflächig eine dielektrische Zwischenschicht gebildet, die strukturiert wird, um ein Kontaktloch zu erzeugen, das einen vorbestimmten Bereich der Störstellenschicht freilegt. Hierbei erhöht sich mit zunehmendem Integrationsgrad des Halbleiterbauelementes die Dicke der dielektrischen Zwischenschicht, und der Durchmesser des Kontaktlochs verringert sich. Mit steigendem Integrationsgrad des Halbleiterbauelementes erhöht sich daher das Aspektverhältnis des Kontaktlochs. Das Halbleitersubstrat 55, in welchem das Kontaktloch gebildet wurde, wird auf den Halter 53 geladen, der in der Reaktionskammer der Anlage zur Bildung einer leitfähigen Schicht installiert ist. In einem ersten Schritt 10 von Fig. 1 wird außerdem ein Prozeßzyklus-Zählwert n anfänglich auf null gesetzt, und gleichzeitig wird ein Zahlenwert k festgelegt, der die Anzahl gewünschter Prozeßzyklen anzeigt.

Anschließend werden, nachdem die Temperatur Ts des Halbleitersubstrates 55 auf 300°C bis 550°C gesteuert wurde, das zweite, vierte und fünfte Ventil V2, V4 und V5 geöffnet, so daß das Inertgas, das Opfermetallquellengas und das reduzierende Gas für eine vorbestimmte Zeitdauer in die Kammer 51 injiziert werden, um dadurch eine anfängliche Opfermetallschicht ganzflächig auf dem Halbleitersubstrat 55 aufzubringen, in welchem das Kontaktloch gebildet ist (Schritt 11). Das Opfermetallquellengas und das reduzierende Gas mischen sich im Gaseinlaß B, reagieren aber wegen der niedrigen Temperatur im Gaseinlaß B von 100°C bis 150°C nicht miteinander. Der Druck in der Reaktionskammer 51 wird hierbei auf 10 Torr oder weniger gesteuert. Vorzugsweise ist die anfängliche Opfermetallschicht eine Metallschicht, die in der Lage ist, leicht mit einem Metallquellengas zu reagieren, das in einem nachfolgenden Prozeß zur Bildung einer gewünschten atomaren Metallschicht verwendet wird, d. h. mit einem Metallhalogenidgas aus einem Übergangsmetall und einem Halogenelement. Um beispielsweise eine atomare Titanmetallschicht zu bilden, ist für das Metallhalogenidgas vorzugsweise ein titanhaltiges Metallhalogenid wünschenswert, wie ein TiCl₄-Gas, ein TiI₄-Gas, ein TiBr₄-Gas oder ein TiF₄-Gas. Außerdem sind, wenn das TiCl₄-Gas als das Metallhalogenidgas verwendet wird, für die anfängliche Opfermetallschicht eine Al-Schicht, eine La-Schicht, eine Pr-Schicht, eine In-Schicht, eine Ce-Schicht, eine Nd-Schicht oder eine Be-Schicht wünschenswert. Hierbei wird die Al-Schicht für die anfängliche Opfermetallschicht am meisten bevorzugt. Der Grund hierfür ist, daß Aluminium bezüglich Cl die höchste Gibbsche freie Energie aufweist, wie in Tabelle 1a gezeigt, und verschiedene Vorläufer besitzt. Für das Inertgas werden vorzugsweise Argongas oder Stickstoffgas verwendet, und für das reduzierende Gas wird Wasserstoffgas eingesetzt. Das reduzierende Gas reduziert das Opfermetallquellengas. Die Gibbsche Energie für verschiedene Metallhalogenidgase bei einer Absoluttemperatur von 700°K, d. h. 427°C, ist in den nachstehenden Tabellen 1a, 1b, 2, 3 und 4 aufgelistet.

DE 198 20 147 A 1

(Tabelle 1a)

Gibbssche freie Energie verschiedener, chlorhaltiger Metallhalogenidgase bei 427°C

Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)	Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)	Verbindung	Gibbssche, freie Energie (kJ/mol)
Al_2Cl_6	-1121,9	HfCl_3	-626,7	BeCl_2	-373,1
ThCl_4	-895,8	EuCl_3	-621,6	BCl_3	-367,7
UCl_5	-811,9	YbCl_3	-621,5	SiCl_4	-365,7
HfCl_4	-804,7	K_2Cl_2	-609,8	SnCl_4	-362,3
ZrCl_4	-777,6	Rb_2Cl_2	-607,6	InCl_3	335,8
LaCl_3	-708,9	Li_2Cl_2	-597,8	AlCl_3	-305,5
PrCl_3	-706,9	SiCl_2	-569,6	TaCl_5	-300,1
In_2Cl_6	-703,7	AlCl_3	-550,1	GeCl_4	-299,8
CeCl_3	-699,5	Fe_2Cl_6	-526,8	MnCl_2	-286,4
NdCl_3	-696,6	BaCl_2	-524,3	WCl_6	-285,6
Be_2Cl_4	-692,6	SrCl_2	-498,1	CsCl	-276,7
TiCl_4	-678,3	TaCl_4	-497,5	ZnCl_2	-273,5
GdCl_3	-674,3	CaCl_2	-489,1	WCl_4	-267,6
TbCl_3	-668,1	PbCl_4	-462,1	Ti_2Cl_2	-259,8
HoCl_3	-659,7	VaCl_4	-447,2	GaCl_3	-258,4
ErCl_3	-651,7	GeCl_2	-410,8	SbCl_5	-249,9
Cs_2Cl_2	-644,1	MgCl_2	-407,8	Cu_2Cl_2	-242,9
TmCl_3	-641,5	Fe_2Cl_4	-406,5	PCl_3	-242,3
TaCl_5	-636,6	GaCl_3	-388,6	FeCl_3	-240,6

DE 198 20 147 A 1

(Tabelle 1b)

Gibbssche freie Energie verschiedener, chlorhaltiger Metallhalogenidgase bei 427°C

Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)	Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)	Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)
InCl ₂	-240,2	CaCl	-165,1	NiCl ₂	-101,8
BiCl ₃	-238,5	TeCl ₄	-136,4	HCl	-98,7
AsCl ₃	-231,4	HgCl ₂	-136,2	SeCl ₂	-50,5
SnCl ₂	-215,8	TeCl ₂	-134,6	BiCl	-30,9
BaCl	-198,5	CoCl ₂	-125,2	BeCl	-6,2
SiCl ₂	-195,5	GeCl	-123,1	AgCl	29,6
SrCl	-181,5	AlCl	-111,6	BCl	74,3
FeCl ₂	-174,5	BCl ₂	-109,9	SiCl	123,7

(Tabelle 2)

Gibbssche freie Energie verschiedener jodhaltiger Metallhalogenidgase bei 427°C

Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)	Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)	Verbindung	Gibbssche freie Energie (kJ/mol)
ThI ₄	-512	ZrI ₄	-409	TiI ₄	-320
Al ₂ I ₆	-510	HfI ₄	-405	PbI ₄	-266
K ₂ I ₂	-480	DyI ₃	-402	MgI ₂	-239
LaI ₃	-457	TmI ₃	-399	CuI	-237
PrI ₃	-448	GdI ₃	-388	CsI	-220
CeI ₃	-442	BaI ₂	-380	TaI ₅	-202
NdI ₃	-438	UI ₄	-377	SiI ₄	-150
Li ₂ I ₂	-427	SrI ₂	-353	HI	-11,8
ErI ₃	-410	CaI ₂	-338	-	-

DE 198 20 147 A 1

lenschicht und der Metallschicht. Die Metallsilicidschicht ist hierbei eine obmsche Schicht, welche den Kontaktwiderstand zwischen der Metallschicht und der Störstellenschicht verbessert.

Fig. 6 zeigt eine erfindungsgemäß gebildete Ti-Schicht. Für das Beispiel von Fig. 6 lag die Temperatur T_k des Halbleitersubstrates während der Bildung einer anfänglichen Opfermetallschicht, des ersten Spülvorgangs, der Bildung der atomaren Opfermetallschicht, des zweiten Spülvorgangs und der Bildung der atomaren Metallschicht bei 450°C. Die anfängliche Opfermetallschicht wurde aus der Al-Schicht durch Reagieren von TMA-Gas mit H_2 -Gas für ungefähr 10 s gebildet. Hierbei wurde auch inertes N_2 -Gas in die Reaktionskammer injiziert. Das N_2 -Gas und das H_2 -Gas wurden in die Reaktionskammer mit Flußraten von 40 sccm bzw. 1.000 sccm eingespeist, und der Druck in der Reaktionskammer betrug ungefähr 3 Torr. Zudem wurde das TMA-Gas unter Verwendung eines Gasspülers bei Raumtemperatur erzeugt. Hierbei wurde für das TMA-Gas kein Trägergas benutzt, so daß das TMA-Gas mit einer Druckdifferenz zwischen dem Dampfdruck des TMA-Gases und dem Druck in der Reaktionskammer in letztere eingeleitet wurde. Nach Bildung der anfänglichen Opfermetallschicht in Form einer Al-Schicht wurde das TMA-Gas nicht mehr zugeführt, und der erste Spülvorgang wurde für ungefähr 5 s durchgeführt, um das in der Reaktionskammer verbleibende TMA-Gas vollständig zu entfernen. Hierbei wurden das N_2 -Gas und das H_2 -Gas kontinuierlich eingeleitet, um den Druck in der Reaktionskammer bei etwa 8 Torr zu halten. Nach Abschluß des ersten Spülvorgangs wurde TMA-Gas in die Reaktionskammer für etwa 1 s eingeleitet, so daß das H_2 -Gas mit dem TMA-Gas reagierte, um eine dünne atomare Opfermetallschicht in Form einer atomaren Al-Schicht zu bilden. Dann wurde kein TMA-Gas mehr zugeführt, und ein zweiter Spülvorgang wurde in derselben Weise wie der erste Spülvorgang durchgeführt. Daraufhin wurde $TiCl_4$ -Metallquellengas in die Reaktionskammer für ungefähr 5 s eingeleitet, wodurch die Al-Schicht und das $TiCl_4$ -Gas miteinander reagierten, um ganzflächig auf dem Halbleitersubstrat eine atomare Ti-Schicht zu bilden. Anschließend wurden die Schritte der ersten Spülung, der Bildung der atomaren Opfermetallschicht, der zweiten Spülung und der Bildung der atomaren Metallschicht nacheinander fünfzig Mal wiederholt.

Es ist aus Fig. 6 ersichtlich, daß die Ti-Schicht erfindungsgemäß im Inneren des Kontaktlochs, das ein Aspektverhältnis von fünf oder mehr aufweist, und auf dem peripheren Bereich des Kontaktlochs in einer gleichmäßigen Dicke von ungefähr 60 nm gebildet wurde.

In den Diagrammen von Fig. 7 repräsentieren die horizontalen Achsen einen Röntgenstrahlbeugungswinkel, und die vertikalen Achsen repräsentieren die Intensität der gebeugten Röntgenstrahlen in willkürlichen Einheiten. Des weiteren ist in den Diagrammen der Bereich des Beugungswinkels 2 θ der Röntgenstrahlen zwischen 140° und 170° das durch Messen einer Al-Komponente erhaltene Resultat, während der Bereich zwischen 84° und 89° das durch Messen einer Ti-Komponente erhaltene Resultat und der Bereich zwischen 90° und 96° das durch Messen einer Cl-Komponente erhaltene Resultat repräsentieren. Aus Fig. 7 ist ersichtlich, daß die erfindungsgemäß gebildete Ti-Schicht keine Störstellen, sondern nur Ti-Atome enthält.

In den Fig. 3 und 4, die ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung darstellen, repräsentieren Teile, die durch dieselben Bezugszeichen repräsentiert sind wie diejenigen in den Fig. 1 und 2, dieselben Vorgänge wie im ersten Ausführungsbeispiel.

Bezugnehmend auf die Fig. 3, 4 und 5 werden nach den Schritten 11, 13, 15, 17 und 19 der Bildung der anfänglichen Opfermetallschicht, der ersten Spülung, der Bildung der atomaren Opfermetallschicht, der zweiten Spülung und der Bildung der atomaren Metallschicht zusätzlich Schritte 25 und 27 einer dritten Spülung und der Bildung einer atomaren Siliziumschicht durchgeführt, um auf diese Weise eine Metallsilicidschicht zu erzeugen. Der dritte Spülvorgang 25 wird in derselben Weise durchgeführt wie der erste und der zweite Spülvorgang 13 und 17. Die atomare Siliziumschicht wird auf einer atomaren Metallschicht durch Reagieren des Siliziumquellengases gebildet, das nach Abschluß des dritten Spülvorganges 25 in die Reaktionskammer 51 eingeleitet wird. Hierbei wird während der Bildung der Siliziumschicht die Temperatur des Halbleitersubstrates auf derselben Temperatur wie im dritten Spülvorgang 25 gehalten, d. h. bei 300°C bis 500°C. Analog zum ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel werden die Schritte 13, 15, 17, 19, 25 und 27, d. h. die erste Spülung, die Bildung der atomaren Opfermetallschicht, die zweite Spülung, die Bildung der atomaren Metallschicht, die dritte Spülung und die Bildung der atomaren Siliziumschicht, je nach Bedarf nacheinander wiederholt, so daß die atomaren Metallschichten und die atomaren Siliziumschichten alternierend übereinandergestapelt werden. Hierbei reagieren die atomare Metallschicht und die atomare Siliziumschicht miteinander, so daß sich eine Metallsilicidschicht bilden kann. Das Zusammensetzungsverhältnis der Metallsilicidschicht kann durch Steuerung der Dicken der atomaren Metallschicht und der atomaren Siliziumschicht verändert werden. Vorzugsweise werden als das Siliziumquellengas SiH_4 -Gas, Si_2H_6 -Gas, $(CH_3)_3SiCl$ -Gas, $(CH_3)_3SiH$ -Gas, $(CH_3)_3SiCl_2$ -Gas, $(CH_3)_3SiCl_3$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_2$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_3$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_4$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_5$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_6$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_7$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_8$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_9$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{10}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{11}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{12}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{13}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{14}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{15}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{16}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{17}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{18}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{19}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{20}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{21}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{22}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{23}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{24}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{25}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{26}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{27}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{28}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{29}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{30}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{31}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{32}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{33}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{34}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{35}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{36}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{37}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{38}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{39}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{40}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{41}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{42}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{43}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{44}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{45}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{46}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{47}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{48}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{49}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{50}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{51}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{52}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{53}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{54}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{55}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{56}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{57}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{58}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{59}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{60}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{61}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{62}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{63}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{64}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{65}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{66}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{67}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{68}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{69}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{70}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{71}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{72}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{73}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{74}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{75}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{76}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{77}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{78}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{79}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{80}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{81}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{82}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{83}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{84}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{85}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{86}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{87}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{88}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{89}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{90}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{91}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{92}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{93}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{94}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{95}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{96}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{97}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{98}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{99}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{100}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{101}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{102}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{103}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{104}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{105}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{106}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{107}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{108}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{109}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{110}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{111}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{112}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{113}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{114}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{115}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{116}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{117}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{118}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{119}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{120}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{121}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{122}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{123}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{124}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{125}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{126}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{127}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{128}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{129}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{130}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{131}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{132}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{133}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{134}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{135}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{136}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{137}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{138}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{139}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{140}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{141}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{142}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{143}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{144}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{145}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{146}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{147}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{148}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{149}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{150}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{151}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{152}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{153}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{154}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{155}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{156}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{157}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{158}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{159}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{160}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{161}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{162}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{163}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{164}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{165}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{166}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{167}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{168}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{169}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{170}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{171}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{172}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{173}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{174}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{175}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{176}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{177}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{178}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{179}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{180}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{181}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{182}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{183}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{184}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{185}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{186}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{187}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{188}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{189}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{190}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{191}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{192}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{193}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{194}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{195}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{196}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{197}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{198}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{199}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{200}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{201}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{202}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{203}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{204}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{205}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{206}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{207}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{208}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{209}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{210}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{211}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{212}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{213}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{214}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{215}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{216}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{217}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{218}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{219}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{220}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{221}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{222}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{223}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{224}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{225}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{226}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{227}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{228}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{229}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{230}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{231}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{232}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{233}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{234}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{235}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{236}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{237}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{238}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{239}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{240}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{241}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{242}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{243}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{244}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{245}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{246}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{247}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{248}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{249}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{250}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{251}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{252}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{253}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{254}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{255}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{256}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{257}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{258}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{259}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{260}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{261}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{262}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{263}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{264}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{265}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{266}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{267}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{268}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{269}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{270}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{271}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{272}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{273}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{274}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{275}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{276}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{277}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{278}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{279}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{280}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{281}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{282}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{283}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{284}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{285}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{286}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{287}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{288}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{289}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{290}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{291}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{292}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{293}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{294}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{295}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{296}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{297}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{298}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{299}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{300}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{301}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{302}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{303}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{304}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{305}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{306}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{307}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{308}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{309}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{310}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{311}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{312}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{313}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{314}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{315}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{316}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{317}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{318}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{319}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{320}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{321}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{322}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{323}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{324}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{325}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{326}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{327}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{328}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{329}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{330}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{331}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{332}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{333}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{334}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{335}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{336}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{337}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{338}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{339}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{340}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{341}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{342}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{343}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{344}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{345}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{346}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{347}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{348}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{349}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{350}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{351}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{352}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{353}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{354}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{355}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{356}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{357}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{358}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{359}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{360}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{361}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{362}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{363}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{364}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{365}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{366}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{367}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{368}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{369}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{370}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{371}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{372}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{373}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{374}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{375}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{376}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{377}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{378}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{379}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{380}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{381}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{382}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{383}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{384}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{385}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{386}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{387}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{388}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{389}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{390}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{391}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{392}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{393}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{394}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{395}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{396}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{397}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{398}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{399}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{400}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{401}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{402}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{403}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{404}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{405}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{406}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{407}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{408}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{409}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{410}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{411}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{412}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{413}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{414}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{415}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{416}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{417}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{418}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{419}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{420}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{421}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{422}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{423}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{424}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{425}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{426}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{427}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{428}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{429}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{430}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{431}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{432}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{433}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{434}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{435}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{436}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{437}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{438}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{439}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{440}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{441}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{442}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{443}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{444}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{445}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{446}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{447}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{448}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{449}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{450}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{451}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{452}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{453}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{454}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{455}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{456}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{457}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{458}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{459}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{460}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{461}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{462}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{463}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{464}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{465}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{466}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{467}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{468}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{469}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{470}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{471}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{472}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{473}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{474}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{475}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{476}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{477}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{478}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{479}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{480}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{481}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{482}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{483}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{484}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{485}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{486}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{487}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{488}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{489}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{490}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{491}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{492}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{493}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{494}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{495}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{496}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{497}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{498}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{499}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{500}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{501}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{502}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{503}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{504}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{505}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{506}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{507}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{508}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{509}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{510}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{511}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{512}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{513}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{514}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{515}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{516}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{517}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{518}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{519}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{520}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{521}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{522}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{523}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{524}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{525}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{526}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{527}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{528}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{529}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{530}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{531}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{532}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{533}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{534}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{535}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{536}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{537}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{538}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{539}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{540}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{541}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{542}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{543}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{544}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{545}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{546}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{547}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{548}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{549}$ -Gas, $(CH_3)_3SiH_{550}$ -Gas, $($

DE 198 20 147 A 1

- Bilden einer atomaren Opfermetallschicht auf einem Halbleitersubstrat,
- Entfernen der atomaren Opfermetallschicht und gleichzeitiges Bilden einer atomaren Metallschicht auf dem Halbleitersubstrat durch Reagieren der atomaren Opfermetallschicht mit einem Metallhalogenidgas und
- Übereinanderstapeln einer Mehrzahl atomarer Metallschichten auf dem Halbleitersubstrat durch wenigstens einmaliges, abwechselndes Bilden der atomaren Opfermetallschicht und der atomaren Metallschicht.

2. Verfahren zur Bildung einer Metallsilicidschicht eines Halbleiterbauelementes, gekennzeichnete folgende Schritte:

- Bilden einer atomaren Opfermetallschicht auf einem Halbleitersubstrat,
- Entfernen der atomaren Opfermetallschicht und gleichzeitiges Bilden einer atomaren Metallschicht auf dem Halbleitersubstrat durch Reagieren der atomaren Opfermetallschicht mit einem Metallhalogenidgas,
- Bilden einer atomaren Siliziumschicht auf der atomaren Metallschicht und
- abwechselndes Übereinanderstapeln einer Mehrzahl atomarer Metallschichten und einer Mehrzahl atomarer Siliziumschichten auf dem Halbleitersubstrat durch wenigstens einmaliges, aufeinanderfolgendes Bilden der atomaren Opfermetallschicht, der atomaren Metallschicht und der atomaren Siliziumschicht.

3. Verfahren zur Bildung einer Metallsilicidschicht eines Halbleiterbauelementes, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Bilden einer atomaren Siliziumschicht auf einem Halbleitersubstrat,
- Bilden einer atomaren Opfermetallschicht auf der atomaren Siliziumschicht,
- Entfernen der atomaren Opfermetallschicht und gleichzeitiges Bilden einer atomaren Metallschicht auf dem Halbleitersubstrat durch Reagieren der atomaren Opfermetallschicht mit einem Metallhalogenidgas und
- alternierendes Übereinanderstapeln einer Mehrzahl atomarer Siliziumschichten und einer Mehrzahl atomarer Metallschichten auf dem Halbleitersubstrat durch wenigstens einmaliges aufeinanderfolgendes Bilden der atomaren Siliziumschicht, der atomaren Opfermetallschicht und der atomaren Metallschicht.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, weiter gekennzeichnet durch den Schritt der Bildung einer anfänglichen Opfermetallschicht auf dem Halbleitersubstrat vor dem Schritt der Bildung der atomaren Opfermetallschicht.

5. Verfahren nach Anspruch 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat während der Bildung der anfänglichen Opfermetallschicht auf 300°C bis 500°C geheizt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die anfängliche Opfermetallschicht aus dem gleichen Material gebildet wird wie die atomare Opfermetallschicht.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die anfängliche Opfermetallschicht unter Verwendung des gleichen Reaktionsgases gebildet wird, wie es zur Bildung der atomaren Opfermetallschicht verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat während der Bildung der atomaren Schichten auf 300°C bis 500°C geheizt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gibbsche freie Energie einer ein Metallatom der atomaren Opfermetallschicht und ein Halogenatom des Metallhalogenidgases enthaltenden Zusammensetzung höher ist als diejenige des Metallhalogenids.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die atomare Opfermetallschicht durch Reagieren eines Opfermetallquellengases mit einem reduzierenden Gas gebildet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, weiter dadurch gekennzeichnet, daß als reduzierendes Gas H₂-Gas oder Silan-Gas verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Metallhalogenidgas aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus TiCl₄-Gas, TaCl₅-Gas, HfCl₄-Gas, ZrCl₄-Gas, TiBr₄-Gas, TaBr₅-Gas, HfBr₄-Gas, ZrBr₄-Gas, TiF₄-Gas, TaF₅-Gas, HfF₄-Gas und ZrF₄-Gas besteht.

13. Verfahren nach Anspruch 12, weiter dadurch gekennzeichnet, daß als Metallhalogenidgas TiCl₄-Gas verwendet wird und die Opfermetallschicht aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einer Al-Schicht, einer La-Schicht, einer Pr-Schicht, einer In-Schicht, einer Ce-Schicht, einer Nd-Schicht und einer Be-Schicht besteht.

14. Verfahren nach Anspruch 13, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die für die Al-Schicht, die La-Schicht, die Pr-Schicht, die In-Schicht, die Ce-Schicht, die Nd-Schicht und die Be-Schicht verwendeten Opfermetallquellengase Vorläufer sind, die Al, La, Pr, In, Ce, Nd bzw. Be enthalten.

15. Verfahren nach Anspruch 14, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Al-haltige Vorläufer aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus (C₄H₉)₂AlH, (C₄H₉)₃AlH, (C₂H₅)₃Al, (CH₃)₃Al, AlH₃N(CH₃)₂, (CH₃)₂AlH und (CH₃)₂C₂H₅N : AlH₃ besteht.

16. Verfahren nach Anspruch 14, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der La-haltige Vorläufer aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus (C₃H₅)₃La und (C₂H₅C₆H₄)₃La besteht.

17. Verfahren nach Anspruch 14, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Pr-haltige Vorläufer aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus (C₃H₅)₃Pr und (C₂H₅C₆H₄)₃Pr besteht.

18. Verfahren nach Anspruch 14, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der In-haltige Vorläufer aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus C₂H₅In, (CH₃)₅C₃In, (C₂H₅)₃In und (CH₃)₃In besteht.

19. Verfahren nach Anspruch 14, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Ce-haltige Vorläufer aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus (C₃H₅)₃Ce und ((C₅H₅)₂C₅H₄)₂Ce besteht.

20. Verfahren nach Anspruch 14, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Nd-haltige Vorläufer aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus (C₃H₅)₃Nd und ((C₅H₅)₂C₅H₄)₂Nd besteht.

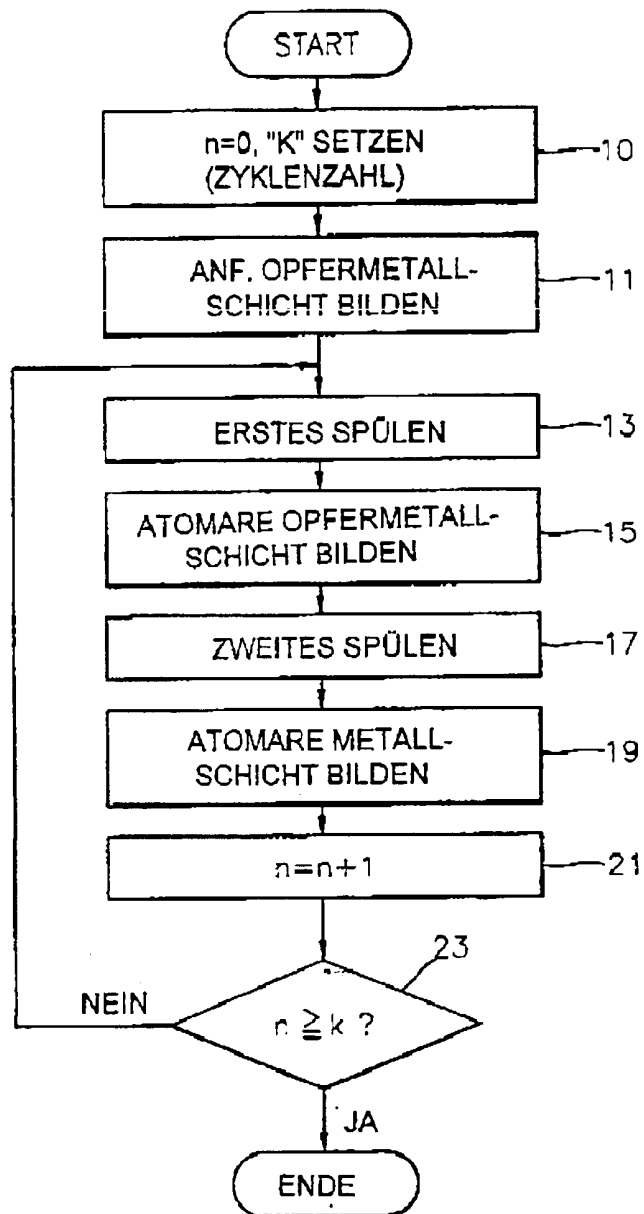
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat während der Durchführung des Schrittes zur Bildung der atomaren Opfermetallschicht oder der atomaren Siliziumschicht

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:
Int. Cl. 5:
Offenlegungstag:

DE 198 20 147 A1
H 01 L 21/3205
1. Juli 1999

FIG. 1

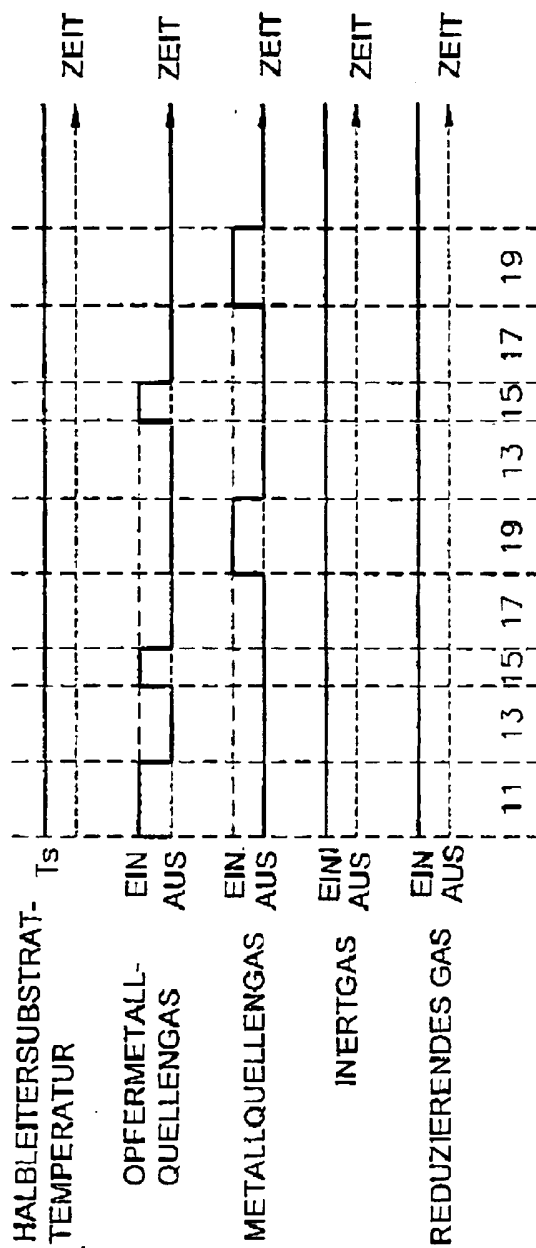


ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:
Int. Cl. 6:
Offenlegungstag:

DE 198 20 147 A1
H 01 L 21/3205
1. Juli 1999

FIG. 2

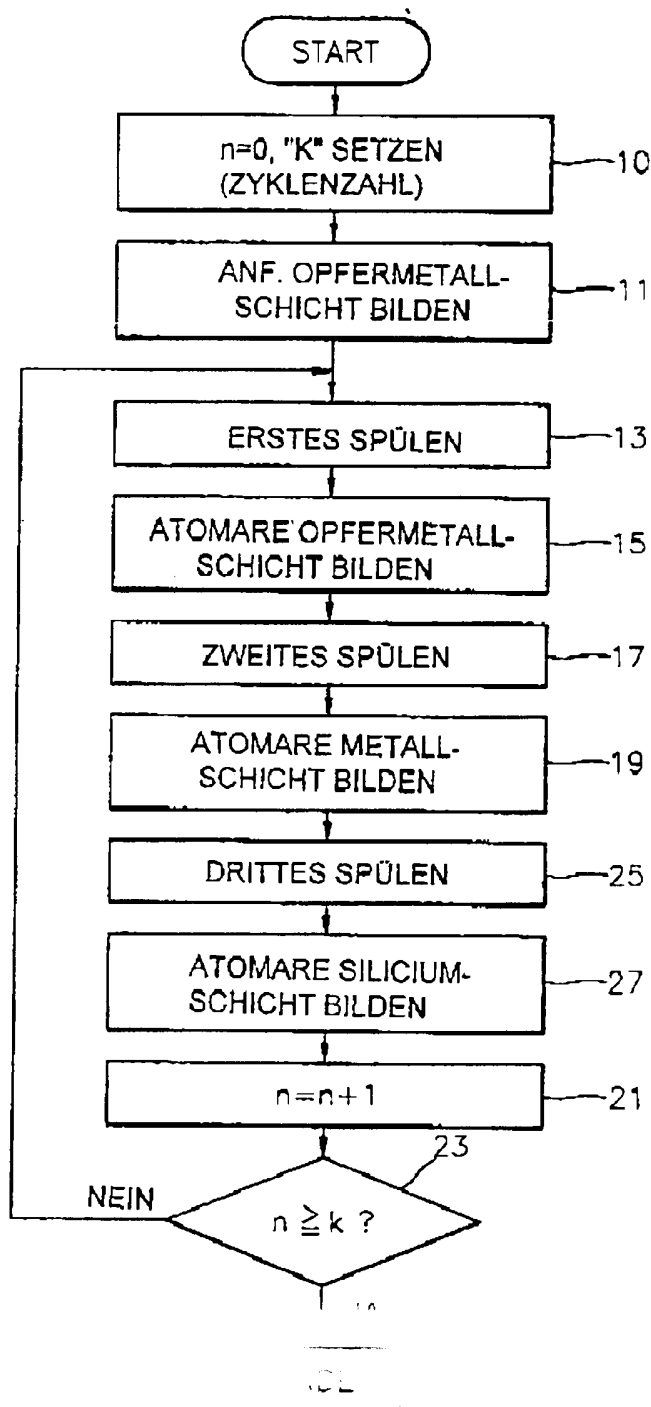


ZEICHNUNGEN SETTE 3

Nummer:
Int. Cl. 9:
Offenlegungstag:

DE 196 20 147 A1
M 01 L 21/3205
1. Juli 1999

FIG. 3

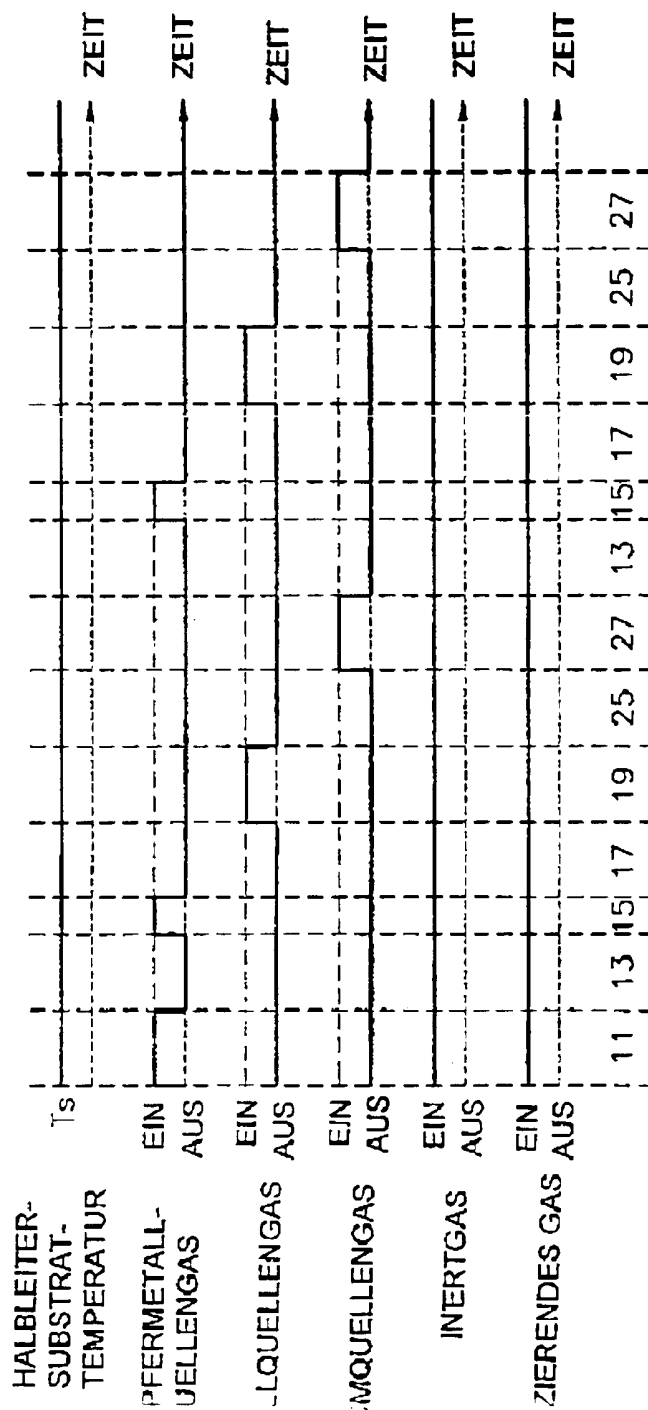


ZEICHNUNGEN SEITE 4

Nummer:
Int. Cl. 8:
Offenlegungstag:

DE 198 20 147 A1
H01L 21/2205
1. Juli 1999

FIG. 4

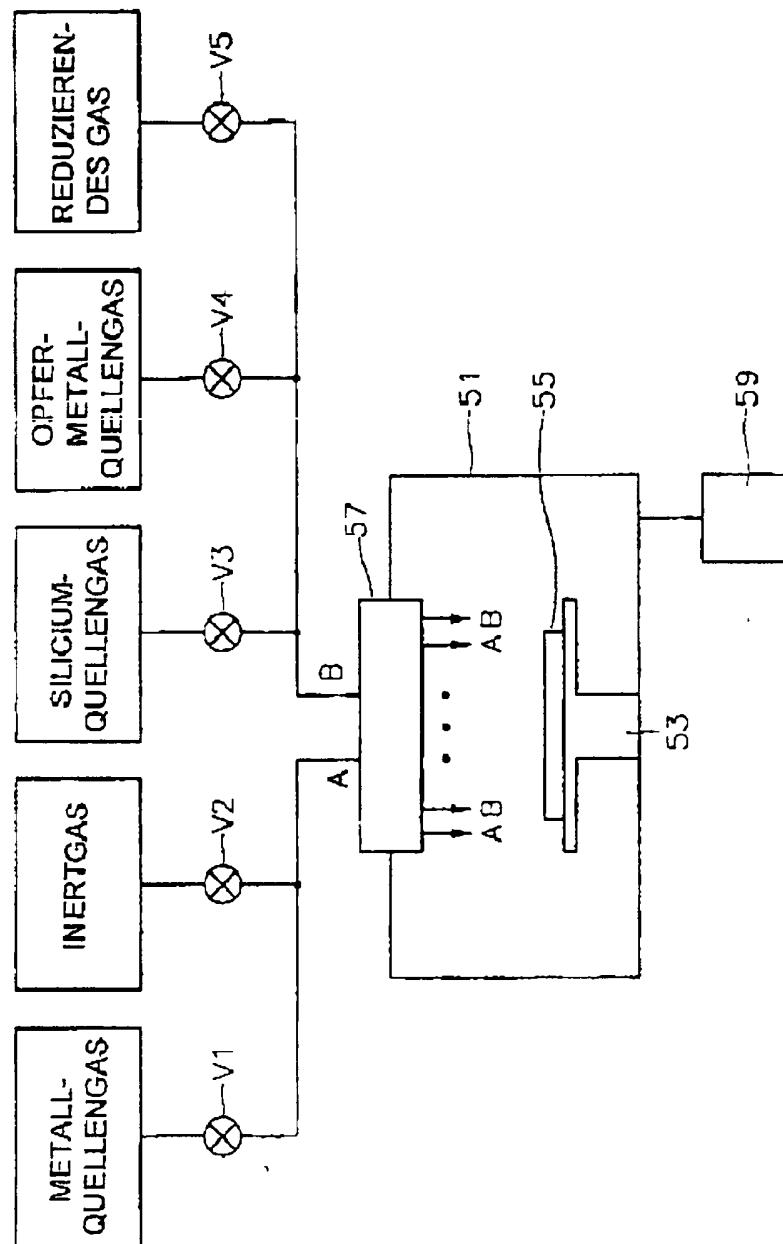


ZEICHNUNGEN SEITE 5

Nummer:
Int. Cl. 6:
Offenlegungstag:

DE 198 20 147 A1
H 01 L 21/3205
1. Juli 1999

FIG. 5

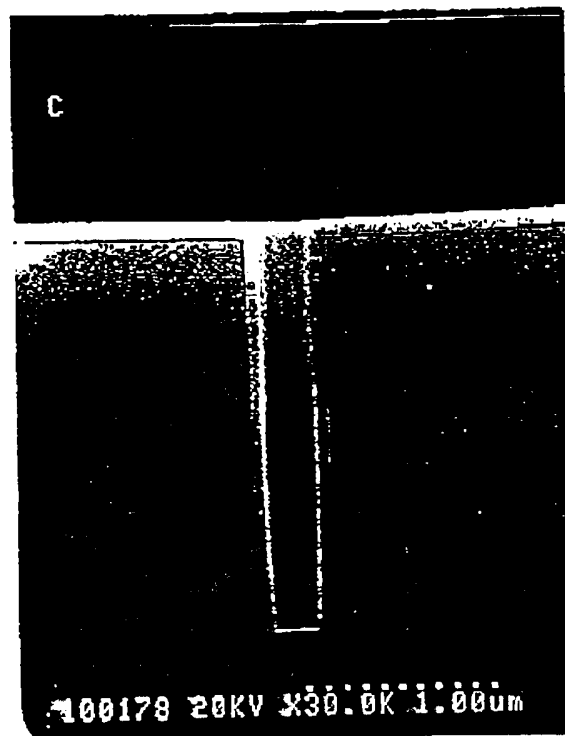


ZEICHNUNGEN SEITE 6

Nummer:
Int. Cl. 6:
Offenlegungstag:

DE 198 20 147 A1
H 01 L 21/3205
1. Juli 1999

FIG. 6



ZEICHNUNGEN SEITE 7

Nummer:
Int. Cl. 8:
Offenlegungstag:

DE 198 20 147 A1
H 01 L 21/3205
1. Juli 1999

FIG. 7

